

УДК 669.162.22

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДУТЬЯ ПО ФУРМАМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

А. А. Першин¹, И. А. Гурин², Н. А. Спирин³

^{1,2,3} Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ dufaz@ya.ru

Аннотация. В работе показана необходимость контроля за распределением комбинированного дутья по воздушным фурмам доменной печи. Рассчитаны расходы горячего дутья через фурмы, параметры отдельных фурменных очагов. Представлено сравнение измеренного и требуемого расходов природного газа по фурмам доменной печи для поддержания теоретической температуры горения на заданном уровне.

Ключевые слова: энергоэффективность, доменная печь, моделирование, горячее дутье, природный газ, фурма

ESTIMATION OF PARAMETERS OF THE COMBINED BLAST ON THE TUYERES OF A BLAST FURNACE

A. A. Pershin¹, I. A. Gurin², N. A. Spirin³

^{1,2,3} Ural Federal University named after the First
President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ dufaz@ya.ru

Abstract. The work shows the need to control the distribution of the combined blast through the air tuyeres of the blast furnace. The charges of hot blast through the tuyeres and the parameters of individual tuyeres are calculated. A comparison of the measured and required natural gas flow rates through the blast furnace tuyeres to maintain the theoretical combustion temperature at a given level is presented.

Keywords: energy efficiency, blast furnace, modeling, hot blast, natural gas, lance

При эксплуатации доменной печи реальное распределение дутья по фурмам далеко неравномерное: отмечаются различия в расходе дутья по отдельным фурмам, достигающие от 5 до 50 % [1–3]. Нерав-

номерное распределения дутья по фурмам приводит к разной протяженности фурменных очагов, что вызывает различие в сходе шихты в отдельных секторах печи, формируется деформированный газовый поток по сечению. Все это приводит к снижению производительности печи и ее энергоэффективности. По этой причине получение информации о распределении дутья по воздушным фурмам доменной печи является чрезвычайно важной задачей.

Опробованные в промышленных условиях методы контроля расхода дутья по воздушным фурмам доменной печи отличаются недолговечностью службы из-за высоких температур горячего дутья и его агрессивности; внедрение других приводит к снижению расхода дутья, подаваемого воздушодувными машинами, и к снижению производительности доменных печей [4; 5].

Ранее была разработана методика определения расхода дутья по воздушным фурмам, в основе которой лежит использование тепловой мощности потока, проходящего через фурму и значение теплосъема, снимаемого с этой фурмы [6]. При математическом моделировании принимается допущение, что при прохождении дутья через фурму часть теплового потока передается охлаждающей фурму воде, причем тем в большей степени, чем выше тепловая мощность прошедшего тепла. Предполагается также, что конструкции всех установленных на печи воздушных фурм одинаковы, одинакова и толщина стенок всех фурм, постоянны и коэффициенты теплопередачи от дутья к фурме и от фурмы к охлаждающей воде; коэффициент теплопроводности стенок фурм взят постоянным.

На основе данных о работе доменной печи № 1 Магнитогорского металлургического комбината (ММК) выполнены расчет и оценка распределения горячего дутья и природного газа по фурмам. Исходные данные и основные результаты представлены в табл. 1–2.

Таблица 1

Показатели доменного процесса для расчета распределения горячего дутья и природного газа по фурмам доменной печи

| № п/п | Наименование показателя, ед. изм. | Значение |
|-------|--------------------------------------|----------|
| 1 | Полезный объем печи, м ³ | 1370 |
| 2 | Производительность печи, т/сут. | 2856 |
| 3 | Удельный расход кокса, кг/т чугуна | 418,6 |
| 4 | Число воздушных фурм, шт. | 20 |
| 5 | Число работающих воздушных фурм, шт. | 20 |
| 6 | Диаметр фурм, мм | 142 |

Окончание табл. 1

| № п/п | Наименование показателя, ед. изм. | Значение |
|-------|--|----------|
| 7 | Высов фурм, мм | 350 |
| 8 | Расход дутья, м ³ /мин | 2567 |
| 9 | Давление дутья, ати | 2,5 |
| 10 | Температура дутья, °С | 1182 |
| 11 | Влажность дутья, г/м ³ | 16,4 |
| 12 | Содержание кислорода в дутье, % | 25,12 |
| 13 | Расход природного газа, м ³ /т чугуна | 157,4 |

Таблица 2

Показатели доменного процесса и расчетные параметры
по фурмам доменной печи

| Номер воздуш- ной фурмы | Показатели домен- ного процесса | | | Расчетные параметры | | | | | |
|----------------------------------|---|--|--|---|---|--|--|--|--|
| | Измеренный расход газа на фурму, м ³ /ч | Расход воды на фур- му, м ³ /ч | Температурный пере- пад воды на фурме, °С | Количество тепла на нагрев воды, кВт | Расчетный расход дутья через фурму, м ³ /мин | Теоретическая темпе- ратура горения, °С | Скорость истечения дутья из фурм, м/с | Протяженность окис- лительной зоны, м | Требуемый расход газа для поддержания Т _г , м ³ /ч |
| 1 | 908,5 | 11,41 | 11,25 | 149,1 | 132,9 | 2019 | 222,4 | 1,49 | 832 |
| 2 | 908,5 | 12,11 | 9,44 | 132,7 | 118,3 | 1975 | 200,6 | 1,34 | 741 |
| 3 | 917,6 | 12,83 | 8,17 | 121,7 | 108,5 | 1938 | 186,2 | 1,26 | 679 |
| 4 | 920,8 | 12,62 | 8,96 | 131,3 | 117,1 | 1966 | 199,1 | 1,33 | 733 |
| 5 | 921,4 | 12,26 | 9,60 | 136,6 | 121,8 | 1981 | 206,2 | 1,38 | 763 |
| 6 | 822,3 | 11,59 | 8,53 | 114,8 | 102,3 | 1958 | 174,5 | 1,19 | 641 |
| 7 | 925,3 | 12,50 | 10,59 | 153,7 | 137,1 | 2023 | 229,0 | 1,54 | 858 |
| 8 | 926,8 | 12,33 | 10,40 | 148,8 | 132,7 | 2011 | 222,6 | 1,49 | 831 |
| 9 | 921,8 | 11,81 | 9,56 | 131,1 | 116,9 | 1965 | 198,8 | 1,33 | 732 |
| 10 | 918,7 | 11,40 | 11,10 | 146,9 | 131,0 | 2009 | 219,8 | 1,47 | 820 |
| 11 | 920,7 | 13,41 | 10,33 | 160,9 | 143,4 | 2041 | 238,4 | 1,60 | 898 |
| 12 | 918,4 | 12,71 | 10,48 | 154,6 | 137,9 | 2028 | 230,0 | 1,54 | 863 |
| 13 | 854,0 | 13,25 | 11,09 | 170,7 | 152,2 | 2088 | 249,6 | 1,69 | 953 |
| 14 | 914,2 | 14,45 | 9,88 | 165,7 | 147,8 | 2054 | 244,7 | 1,65 | 925 |
| 15 | 830,0 | 13,62 | 8,47 | 133,9 | 119,4 | 2012 | 200,1 | 1,34 | 748 |
| 16 | 904,5 | 11,31 | 12,21 | 160,4 | 143,0 | 2046 | 237,3 | 1,60 | 896 |
| 17 | 910,5 | 13,63 | 8,58 | 135,8 | 121,1 | 1983 | 204,8 | 1,37 | 758 |
| 18 | 905,3 | 12,57 | 10,34 | 150,9 | 134,5 | 2024 | 224,7 | 1,51 | 842 |

Окончание табл. 2

| Номер воздушной фурмы | Показатели доменного процесса | | | Расчетные параметры | | | | | |
|-----------------------|--|---|---|--------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|
| | Измеренный расход газа на фурму, м ³ /ч | Расход воды на фурму, м ³ /ч | Температурный перепад воды на фурме, °С | Количество тепла на нагрев воды, кВт | Расчетный расход дутья через фурму, м ³ /мин | Теоретическая температура горения, °С | Скорость истечения дутья из фурм, м/с | Протяженность окислительной зоны, м | Требуемый расход газа для поддержания T _г , м ³ /ч |
| 19 | 921,6 | 11,68 | 9,75 | 132,3 | 117,9 | 1968 | 200,4 | 1,34 | 738 |
| 20 | 910,6 | 11,52 | 10,97 | 146,8 | 130,9 | 2012 | 219,4 | 1,47 | 819 |

Выполненный расчет выявил неравномерность распределения дутья по фурмам и различие в значениях теоретической температуры горения на фурмах доменной печи. При неравномерном распределении дутья по фурмам для стабилизации теплового состояния в фурменных очагах требуется корректировка расхода природного газа на каждую фурму для сохранения теоретических температур горения на заданном уровне.

На рис. 1 представлена диаграмма сравнения измеренного и требуемого расходов природного газа по фурмам доменной печи.

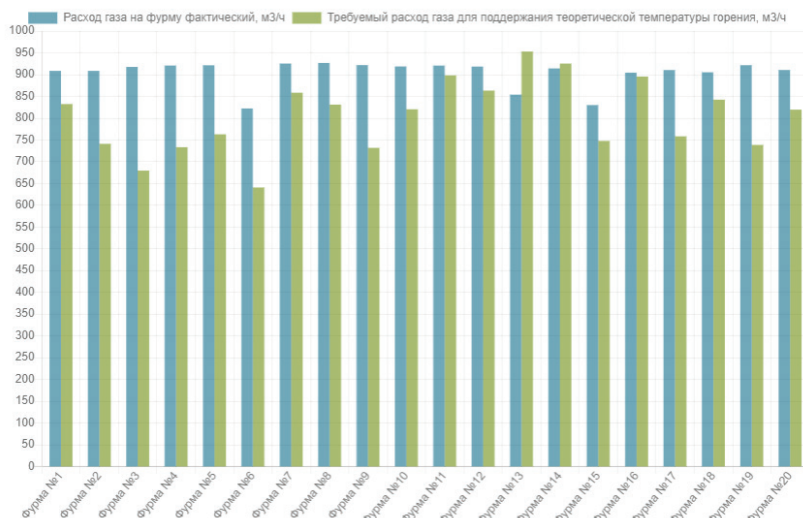


Рис. 1. Диаграмма изменения измеренного расхода природного газа на каждой фурме и расхода газа, требуемого для поддержания теоретической температуры горения на заданном уровне

Таким образом, оценка распределения параметров комбинированного дутья по фурмам доменной печи позволяет осуществлять оперативный контроль за распределением газового потока в различных секторах печи, контролировать скорость движения шихты и газа в этих секторах печи, протяженность зон горения, а также распределение температур в поперечном сечении горна, оптимизировать параметры процесса.

Список источников

1. Результаты оценки равномерности распределения дутья по фурмам доменных печей / М. Ю. Ширшов [и др.] // Теория и технология металлург. пр-ва. Магнитогорск : Изд-во МГТУ, 2014. № 2. С. 27–31.
2. Автоматизированная система контроля расхода дутья по воздушным фурмам доменной печи / Н. М. Можаренко [и др.] // Фундам. и приклад. проблемы чер. металлургии : сб. науч. тр. Дніпропетровськ : ІЧМ НАН України, 2005. Вип. 11. С. 34–42.
3. Андронов В. Н., Белов Ю. А. Оценка эффективности распределения дутья и природного газа по фурмам // Сталь. 2002. № 9. С. 15–17.
4. Современный доменный процесс / М. Геердес [и др.]. М. : Металлургиздат, 2016. 280 с.
5. Изюмский Н. Н., Васильев А. П. Современные промышленные системы автоматизации доменных печей мира // Теория и практика производства чугуна : сб. тр. международ. науч.-техн. конф. Кривой Рог : Криворожсталь, 2004. С. 48–68.
6. Распределение дутья по воздушным фурмам доменной печи / А. А. Полинов [и др.] // Металлург. 2018. № 5. С. 23–27.